

SIERRA NEVADA, NEXO ENTRE DOS PATRONES DE TELECONEXIÓN: LA NAO Y LA WEMO

Marc OLIVA, Ignacio MORENO

*Grupo de Investigación Paisaje y Reconstrucción Paleoambiental de la Montaña
Mediterránea, Universitat de Barcelona*

Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universitat de Barcelona
oliva_marc@yahoo.com, natxo.moreno@gmail.com

RESUMEN

Sierra Nevada juega un papel determinante en el contexto climático regional del sur peninsular. Sus peculiares características geográficas determinan un amplio abanico microclimático en sus inmediaciones. Las correlaciones mensuales de los índices NAO y WeMO con la precipitación evidencian que la zona occidental de Sierra Nevada recibe una influencia claramente atlántica, mientras que el sector oriental muestra una componente mediterránea más atenuada; las alturas tienden a mostrar unas correlaciones más moderadas y menos influenciadas por ambos patrones.

Palabras clave: Sierra Nevada, patrones de teleconexión, Oscilación del Atlántico Norte, Oscilación del Mediterráneo Occidental.

ABSTRACT

Sierra Nevada plays a decisive role in the climate of the southern Iberian Peninsula. The singular geographical characteristics of this massif determine a wide range of microclimates in the surrounding area. Correlations between NAO and WeMO indexes with monthly rainfall show a clear Atlantic influence in the western study area and a Mediterranean component in the eastern part. High altitudes tend to equilibrate these correlations and seem to be less influenced by both teleconnection patterns.

Key words: Sierra Nevada, teleconnection patterns, North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation.

1. INTRODUCCIÓN

La Península Ibérica se inscribe a caballo de la influencia climática del mundo subtropical y el de latitudes medias, con una clara influencia mediterránea en su mitad oriental. La cuenca del Mediterráneo se concibe como un ámbito climáticamente autónomo y de comportamiento relativamente anárquico respecto a la Circulación General Atmosférica.

Sierra Nevada, macizo instalado a 37° de latitud norte y de disposición alargada de oeste a este, cuenta con las alturas más elevadas de la Península Ibérica en su sector occidental: Mulhacén (3.478 m.) y Veleta (3.398 m.), disminuyendo progresivamente hacia el este. Su altura,

compacidad y extensión (80 km de longitud y 30 km de anchura) condicionan el clima de su contexto regional, creando un verdadero mosaico topoclimático, no sólo en el macizo sino muy especialmente en sus márgenes.

La extensión de los estudios sobre los patrones de teleconexión ha tenido un notable auge las últimas décadas, ya que las interacciones climáticas entre diferentes zonas alejadas del planeta resultan de gran interés para la modelización climática y predicciones a medio y largo plazo. El objetivo del presente artículo es analizar el papel de Sierra Nevada en el sur peninsular a partir de la contrastación de la precipitación con dos índices climáticos: la Oscilación del Atlántico Norte (NAO; HURRELL, 1995) y la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO; MARTÍN VIDE & LÓPEZ BUSTINS, 2005). El ámbito de afectación de estos patrones determina una zona de influencia claramente atlántica (NAO) y otra de influencia más mediterránea (WeMO).

2. DATOS Y MÉTODOS

El área de estudio analizada centra su interés en Sierra Nevada y sus inmediaciones, a partir de la disponibilidad de series de precipitación diaria de la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología para las provincias de Granada y Almería. La amplia mayoría de series de precipitación analizadas contemplan el periodo de referencia 1961-1990, aunque debido a las características propias del estudio, se han considerado también estaciones con un alcance temporal menor y se han desestimando aquellas que presentan numerosos vacíos e irregularidades. A su vez, los escasos vacíos detectados en los registros mensuales de las series consideradas se han completado a partir de los datos existentes de estaciones próximas. La Tabla 1 resume las estaciones seleccionadas.

Los índices de los patrones de teleconexión analizados corresponden a una escala mensual. Los valores de la NAO mensual han sido extraídos de la aplicación *online* del Climate Research Unit (CRU, 2004) y los referentes a la WeMO se descargaron de la *web* del Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona (MARTÍN VIDE y LÓPEZ BUSTINS, 2006).

Considerando las correlaciones mensuales existentes entre los índices climáticos (NAO y WeMO) y las precipitaciones, se ha realizado la cartografía con el programa ArcGIS 9.2, basándonos en el *Kriging* como método de interpolación estadístico (HENGL, 2007).

La elección de este método requirió de un previo análisis de los datos (MORENO, 2005) que denotó una tendencia espacial de las correlaciones en dirección W-E (ver figura 2). Se consideraron, a su vez, otros métodos de interpolación, tales como el inverso de la distancia (*IDW*), aunque presentaba una excesiva dependencia local resultando en el mapa numerosas circunferencias concéntricas carentes de continuidad geográfica, y el *Spline*, que, debido al limitado número de observaciones de que disponemos, inducía en el mapa resultante bruscas variaciones espaciales poco realistas.

ID	Estación	Altura (m)	Serie	ID	Estación	Altura (m)	Serie
1	Abrucena	975	1956-1977	25	Láujar (1.800)	1.800	1951-2005
2	Alcontar	954	1961-2004	26	Nigüelas	931	1934-2000
3	Alcontar (1.600)	1.600	1961-2006	27	Orgiva	450	1961-2005
4	Aldeire	1.270	1991-2004	28	Padul	753	1961-2005
5	Aldeire (CHG)	1.277	1991-2004	29	Poqueira	1.530	1972-1998
6	Alhedín	745	1966-2004	30	Portugos	1.120	1961-2004
7	Arquilla	1.652	1989-2006	31	Sierra Nevada	2.507	1965-2003
8	Bacares	1.200	1961-1979	32	Tahal	1.010	1961-2005
9	Bayarque	816	1965-2005	33	Tíjola	680	1963-2005
10	Baza	1.540	1984-1998	34	Torvizcón	684	1961-2004
11	Cádiar	916	1961-2004	35	Ugíjar	559	1961-2004
12	Calicasas	764	1992-2004	36	Vélez	235	1946-1986
13	Charches	1.773	1988-2006	37	Diezma	1.233	1955-2007
14	Dílar	990	1957-2000	38	Pantano Quéntar	975	1959-2007
15	Dúrcal presa	1.800	1946-1992	39	Trevélez	1.476	1965-2007
16	Fines	475	1965-1979	40	Bayárcal	1.260	1974-2007
17	Gérgal	758	1961-2005	41	Alhama	520	1961-2000
18	Granada-Cartuja	774	1941-2004	42	Alhama de Almería	1.219	1961-2007
19	Guadix	905	1969-2004	43	Alboloduy	460	1965-2007
20	Illora	1.592	1973-2002	44	Nacimiento	595	1961-2007
21	Jerez del Marquesado	1.223	1991-2005	45	Nacimiento Gilmar	1.190	1961-2007
22	Lanjarón	707	1946-2004	46	Abrucena	975	1961-2007
23	Láujar (921)	921	1948-2005	47	Bérchules	1.319	1961-2007
24	Láujar (1.280)	1.280	1951-2005				

Tabla 1: LISTADO DE ESTACIONES CONSIDERADAS.

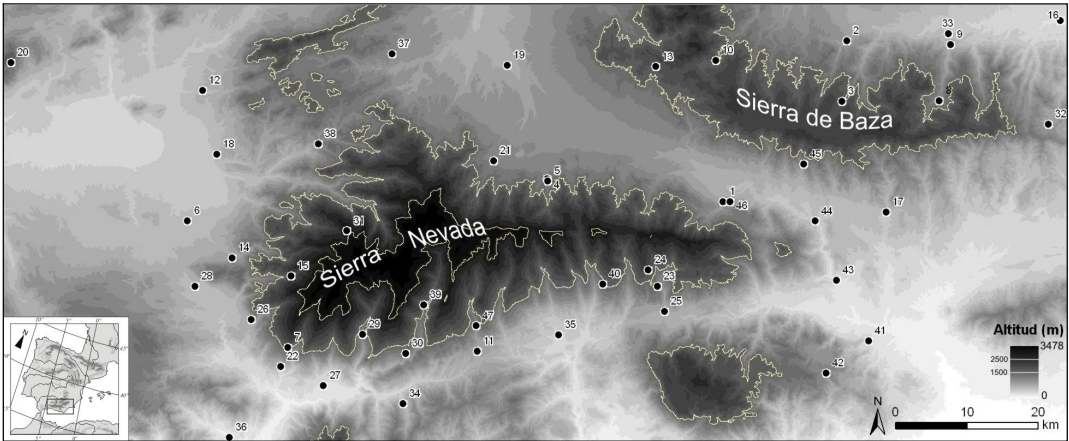


Fig. 1: Localización de las estaciones consideradas.

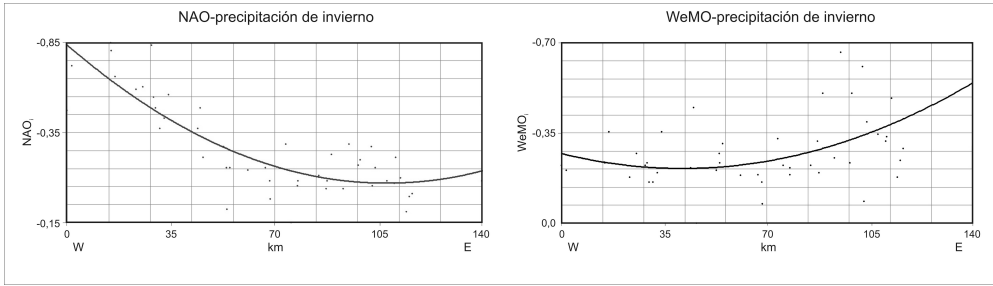


Fig. 2: Tendencia espacial de las correlaciones de los patrones con la precipitación (correlaciones significativas con un nivel de confianza del 95%).

Admitiendo la validez del *Kriging* para mostrar las variaciones espaciales de los patrones estudiados y considerando el número disponible de series, se ha establecido en 10 el número mínimo de puntos para realizar la predicción de los valores de ambos patrones de teleconexión (WEBSTER, 2001). La disposición zonal de Sierra Nevada provoca acusados contrastes de los diferentes parámetros climáticos entre la vertiente septentrional y la meridional del macizo, especialmente en el sector oriental, y más graduales de este a oeste, hecho que nos llevó a efectuar la interpolación mediante una elipse cuyo eje mayor se dispone en dicha dirección para enfatizar la componente longitudinal.

El resultado de la aplicación del método son los mapas que se presentan en las figuras 4 y 5, donde se destacan las correlaciones estacionales y mensuales entre los índices NAO y WeMO y las precipitaciones de las series contempladas. En la cartografía se representan, a su vez, las isohipsas de 1500 y 2500 m., obtenidas a partir del Modelo Digital del Terreno (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2008), que ayudan a caracterizar el efecto orográfico del relieve de Sierra Nevada y del conjunto de sierras del sureste peninsular como vertebradoras de la dinámica climática regional.

3. RESULTADOS

La disposición alargada del macizo de oeste a este y su compleja orografía en el sur peninsular imponen una redistribución de la circulación de vientos regional y determinan una amplia gama de microclimas en sus inmediaciones.

Sierra Nevada se ve influenciada por el desplazamiento latitudinal anual de la Circulación General Atmosférica (CGA), con afectación del margen septentrional del anticiclón de altas subtropical durante la estación cálida y la influencia de las bajas presiones asociadas a los *westerlies* de medias latitudes durante el semestre frío del año.

3. 1. Precipitaciones anuales en el área de estudio

La figura 2 evidencia el papel de la orografía en la precipitación anual de Sierra Nevada y áreas colindantes. Si bien cabe remarcar la falta de estaciones meteorológicas en los sectores culminantes del macizo, la interpolación de los datos disponibles sugiere que no son las áreas más elevadas las que concentran los totales pluviométricos más elevados, sino aquellos valles

de la Sierra mejor encarados a los flujos húmedos del SW. Su estrechez y orientación abierta al Atlántico, con acusados desniveles verticales en escasos kilómetros, canalizan los vientos ábregos o “llovedores” y refuerzan los procesos de condensación y precipitación.

Las bajas presiones centradas en el oeste peninsular, particularmente las depresiones situadas en el golfo de Cádiz (MARTÍN VIDE, 1991) son la configuración sinóptica que conlleva mayores precipitaciones en la Sierra; las cabeceras de los valles orientados al este y sureste (Dílar, Lanjarón o Poqueira) totalizan precipitaciones medias anuales del orden de 800-900 mm.

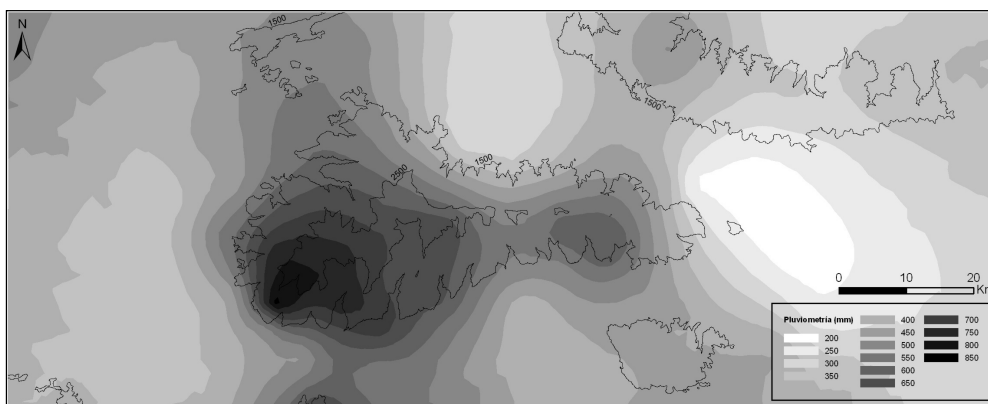


Fig. 3: Pluviosidad anual en Sierra Nevada e inmediaciones.

Las precipitaciones, si bien se refuerzan en el conjunto del macizo por efecto de la altura, decaen considerablemente hacia el este, donde una menor altitud y una exposición menos favorable a los vientos atlánticos determinan una disminución de la pluviosidad: Sierra Nevada ejerce de barrera pluviométrica, amortiguando la llegada de las precipitaciones al sureste peninsular.

3. 2. Correlaciones entre los patrones de teleconexión NAO y WeMO y la precipitación a escala estacional

Hipotetizado el papel de Sierra Nevada como frontera climática en el sur peninsular entre una zona de influencia atlántica y otra mediterránea, se presentan las correlaciones estacionales entre los índices NAO y WeMO y la precipitación en nuestra área de estudio. El carácter anárquico de las precipitaciones estivales y las recurrentes configuraciones sinópticas indefinidas, con frecuente presencia de pantano barométrico, explican la escasa correlación de ambos patrones con la lluvia en el trimestre veraniego, hecho que nos lleva a desestimar esta estación.

Los mapas resultantes reflejan el desplazamiento latitudinal de la CGA a lo largo del año. En todos ellos dominan las correlaciones negativas, señalando la presencia de bajas presiones en el sur peninsular como situación óptima para la precipitación en este sector. En otoño y primavera los *westerlies* están más definidos en latitudes medias del hemisferio norte y la afectación de

las depresiones en el ámbito peninsular es menor, mientras que en invierno se produce un movimiento de vaivén hacia latitudes más meridionales, con las bajas presiones circulando con mayor recurrencia en torno a la Península Ibérica. Tanto la NAO como la WeMO presentan unas correlaciones negativas más significativas en invierno, para volver a debilitarse en primavera con el restablecimiento de la CGA a posiciones más septentrionales.

En otoño, la WeMO prácticamente no tiene influencia sobre la precipitación de Sierra Nevada, mientras que la NAO presenta sus mayores correlaciones en los sectores occidental y oriental del macizo, con la entrada de las primeras borrascas atlánticas de la temporada. No sucede así en el sector central del macizo (de menores alturas) y en el extremo nororiental de estudio con escasa correlación especialmente en los sectores de montaña, posiblemente debido aún al carácter convectivo y desorganizado de las precipitaciones. Invierno presenta una tendencia invertida a otoño, con correlaciones de la NAO superiores a $r = -0,5$ en la mitad occidental del conjunto y en prácticamente todo el macizo. Las correlaciones negativas tienen su máximo en el norte de Sierra Nevada y en la vertiente suroeste de la Sierra de Baza, donde evidencian una alta dependencia de la precipitación de un campo depresionario bien conformado.

Las zonas elevadas del extremo occidental del macizo parecen menos dependientes de valores muy negativos de la NAO y la WeMO; se insinúa que incluso el barrido de frentes atlánticos asociados a depresiones circulando por latitudes más septentrionales (con valores de la NAO/WeMO sólo ligeramente negativos) puede conllevar precipitación. En invierno, la WeMO también presenta correlaciones menos elevadas que la NAO, siendo menos significativas en la parte este del macizo. En primavera, las correlaciones son menores: la NAO presenta sus máximos en la mitad occidental de la Sierra, mientras la WeMO contribuye a explicar la precipitación en el extremo nororiental de la región.

3. 3. Correlaciones entre los patrones de teleconexión NAO y WeMO y la precipitación invernal a escala mensual

La NAO y la WeMO explican los mecanismos sinópticos asociados a la precipitación especialmente durante el invierno, estación en que los centros de acción que rigen la CGA en el Atlántico norte están más definidos.

Como muestra la línea de correlación $r = -0,5$ en la figura 5, se detecta una gradual disminución de la efectividad de la NAO entre diciembre, enero y febrero, cuya influencia tiende a recluirse en el sector suroccidental del conjunto, siendo también particularmente efectiva en la parte central de la vertiente septentrional del macizo. Diciembre muestra las mayores correlaciones en el sur del área de estudio y en el área más occidental de la Sierra de Baza, siendo el propio macizo de Sierra Nevada la zona menos influenciada por la NAO.

En enero ya se detecta que el este del mapa no presenta correlaciones óptimas con la NAO, siendo aún muy notorias en la fachada continental de Sierra Nevada, en especial en su sector central. Un cuadro parecido sucede en febrero, aunque enfatiza una componente muy distinta entre el este y oeste del área de estudio, ya que el margen oriental resta ya muy distante de la influencia de este patrón de teleconexión.

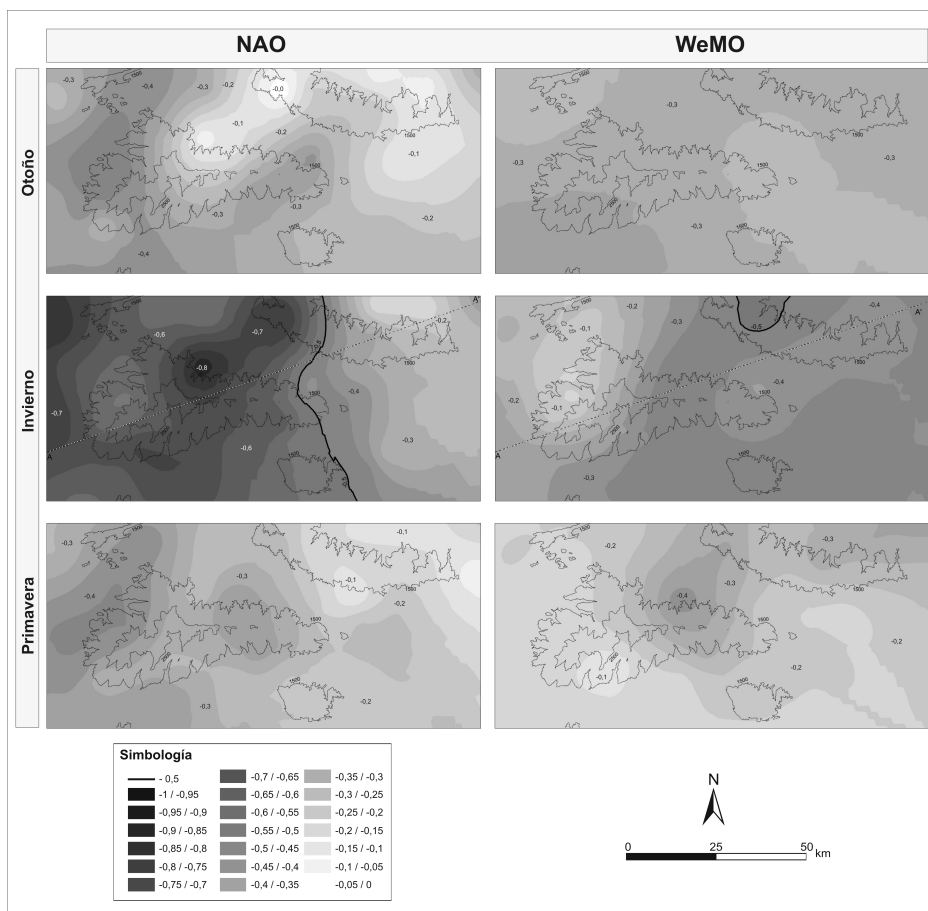


Fig. 4: Correlación entre la NAO-WeMO y la precipitación a escala estacional (otoño, invierno y primavera). La línea oscura señala la correlación $r = -0,5$ ($p < 0,05$), mientras que el transecto en el gráfico de invierno entre A-A' hace referencia a la figura 6.

La WeMO, por su parte, siempre presenta las más altas correlaciones en la fachada mediterránea y escasas en el noroeste de Sierra Nevada, donde la combinación entre continentalidad e influencia atlántica relativizan su efectividad. Si bien en diciembre y enero se detecta una notable organización de su ámbito de influencia, ésta desaparece totalmente en febrero, mes en que los *westerlies* del Atlántico Norte empiezan su traslado hacia latitudes más elevadas.

4. CONCLUSIONES

La complejidad del relieve de Sierra Nevada, con altas cumbres y profundos valles, su disposición zonal y su emplazamiento latitudinal determinan un amplio abanico microclimático en el mismo macizo y en sus inmediaciones.

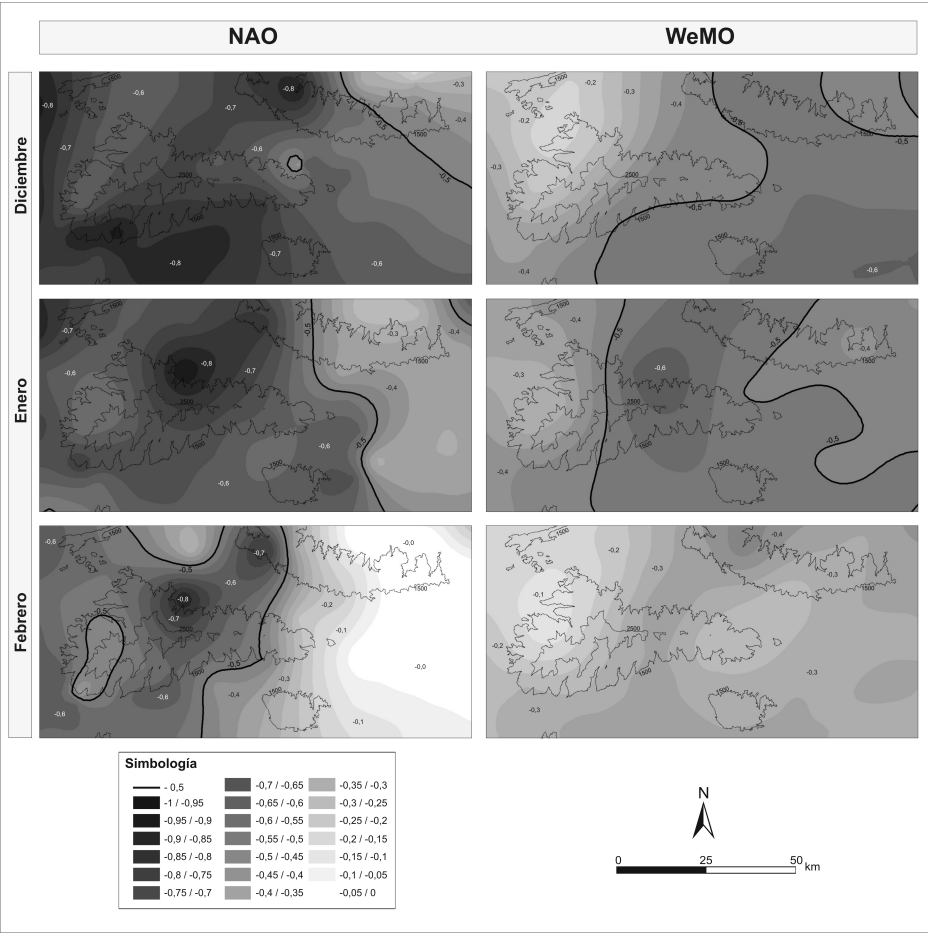


Fig. 5: Correlación entre la NAO-WeMO y la precipitación a escala mensual (diciembre, enero y febrero). La línea oscura señala la correlación $r = -0,5$ ($p < 0,05$).

Las precipitaciones en Sierra Nevada están concentradas en el semestre frío del año y muy determinadas por las advecciones del suroeste. Su posición geográfica, relativamente desplazada hacia el este de la región, determina que los flujos atlánticos afecten de manera más directa al margen occidental del macizo, siendo los valles glaciares estrechos y encarados a estos flujos húmedos atlánticos los que reciben mayores cantidades de precipitación.

Las altas cumbres, situadas en la fachada occidental del macizo, y la propia alineación de Sierra Nevada orientada de oeste-este condicionan la mayor pluviometría en el sector occidental, ligada a fases negativas de la NAO; mientras, el sector oriental, de relieves menos abruptos y altitudes más moderadas, tiene un comportamiento pluviométrico más complejo, respondiendo de manera más débil a la componente NAO y más efectivamente respecto a la WeMO.

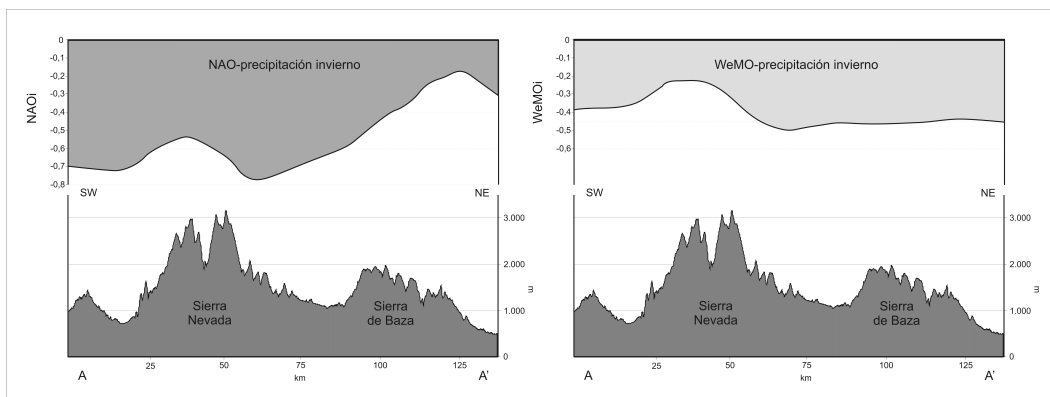


Fig. 6: Influencia del relieve en la correlación entre los índices NAO y WeMO y la precipitación en invierno según el perfil A-A' marcado en la figura 4.

La correlación entre la precipitación y el patrón de teleconexión NAO presenta, en general, valores más significativos que los relativos a la WeMO. En invierno, las correlaciones de ambos índices muestran unos valores más elevados que durante el resto del año; este hecho no es casual, ya que es durante esta estación del año en la que los *westerlies* se encuentran desplazados hacia latitudes más meridionales y el momento en que tenemos centros de acción más definidos sobre el Atlántico Norte. En otoño y primavera, las correlaciones son menos significativas, ya que el sistema restablece su movimiento de vaivén hacia posiciones más septentrionales y las bajas presiones dinámicas tienden transitar más al norte de la Península Ibérica. El trimestre de verano no presenta correlaciones con ninguno de los dos patrones.

Tomando como referencia temporal los meses de invierno, la figura 6 ejemplifica el papel que juega la topografía en la precipitación en el sureste peninsular; la NAO presenta unas correlaciones de $r = -0,7$ en las llanuras occidentales, pero disminuyen en los altos relieves de la Sierra, consecuencia de una menor dependencia de las precipitaciones en altura de una configuración depresionaria bien definida. En la vertiente septentrional del macizo vuelven a aumentar las correlaciones hasta valores superiores a $r = -0,8$, aunque progresivamente éstas disminuyen hasta una influencia prácticamente nula de este patrón en la fachada noroccidental de la Sierra de Baza, donde la influencia de las precipitaciones asociadas a los flujos atlánticos llega ya muy mermada. La WeMO muestra unas correlaciones más moderadas en su conjunto aunque con una pauta más estable; se detecta también su menor correlación con la precipitación en las cumbres de Sierra Nevada, aunque en la mitad occidental del área de estudio se estabiliza en valores estadísticamente significativos de $r = -0,5$, más elevados que la NAO en este sector.

La orografía de Sierra Nevada en el sur peninsular juega, pues, un papel determinante como nexo geográfico entre las influencias de un índice de escala hemisférica (NAO) y uno de escala regional (WeMO).

5. AGRADECIMIENTOS

La investigación se ampara en el programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Ciencia y del programa Formació de personal Investigador (FI) de la Generalitat de Catalunya. Se agradece el apoyo del Grup de Recerca Consolidat *Paisatge i paleoambients a la muntanya mediterrània* y de los proyectos 017/2007 de Parques Nacionales (MMA) y Fluvalps-3000 (CGL2006-01111).

6. REFERENCIAS

- CRU (2004). Climate Research Unit: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>.
- HENGL, T. (2007) *A practical guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. Institute for Environment and Sustainability. European Commission.
- HURRELL J.W. (1995) Decadal trends in the north Atlantic oscillation: regional temperature and precipitation. *Science* 269, pp. 676-679.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2008). *Modelo digital del terreno de Andalucía. Relieve y orografía*. Formato DVD.
- MARTÍN-VIDE, J. (1991). *Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite*, Vilassar del Mar, Oikos-Tau.
- MARTÍN-VIDE, J. y LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and Rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26 (11), pp. 1455-1475.
- MORENO, A. (coord.) (2005). *Sistemas y análisis de la Información Geográfica*. Departamento de Geografía, Universidad de Madrid. Ra-Ma.
- WEBSTER, R. ; OLIVER, M. (2001) *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley, UK.